

**Ivana MAHDALOVÁ<sup>1</sup>**

**NÁVRH METODY PRO DIMENZOVÁNÍ NESTMELENÉ KONSTRUKČNÍ VRSTVY  
VOZOVKY A AKTIVNÍ ZÓNY PODLE MODULU PŘETVÁRNOSTI**

**Abstract**

The paper describes proposal of method for dimensioning of unagglutinate constructional strata in roadways or in active zone according to modulus of deformability. The proposed method is derived from procedure for dimensioning of constructional stratum in railways subbase, which is defined by departmental prescript of Czech railway CD S4 and start from original theory of institute SOJUZDORNII for behaviour of multiply flabby constructional system.

**1 ÚVOD**

Intenzita provozu na pozemních komunikacích klade nemalé požadavky na kvalitu pojezděného povrchu. Konstrukce vozovek musí odolávat velkým nápravovým tlakům plně naložených těžkých nákladních vozidel a jsou navíc zatíženy působením klimatických podmínek, zejména mrazem, v návaznosti na vodní režim podloží vozovky. Volba vhodné konstrukce vozovky pro odpovídající zatížení, ale také kvalitní podklad v aktivní zóně pod vozovkou, jsou nutným předpokladem dlouhé životnosti vozovky jako celku, bez potřeby častých oprav s následným dopadem do bezpečnosti a plynulosti dopravního provozu.

Aktivní zónou ve stavbách pozemních komunikací se rozumí horní vrstva zemního tělesa na násypu i v zářezu. Má tloušťku zpravidla 0,50 m, do níž zasahují vlivy zatížení a klimatu. Tyto vlivy mohou vést ke změnám fyzikálních a mechanických vlastností materiálů, z nichž je tato vrstva složena. Proto se na ni vtaňují přísnější kvalitativní parametry oproti ostatním částem zemního tělesa. Aktivní zóna musí mít dostatečnou únosnost (ve smyslu odolnosti proti deformaci).

Dimenzování vozovek i aktivní zóny pozemních komunikací se v ČR provádí podle resortního předpisu Technické podmínky Ministerstva dopravy TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací [4]. Materiály do konstrukce vozovky a do podloží se podle něj navrhuji a posuzují v závislosti na jejich modulu pružnosti, případně podle jejich kalifornského poměru únosnosti CBR. Dimenzování aktivní zóny v podloží je řešeno také v ČSN 73 6133 Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací, a to pouze na základě poměru únosnosti CBR.

Výpočtovým modelem pro dimenzování podloží vozovky podle TP 170 je ideálně pružný poloprostor, který je pro výpočet reprezentován modulem pružnosti. Vychází se přitom z předpokladu, že hmota, která vyplňuje poloprostor, je ideálně pružná, homogenní a izotropní, závislost mezi napětím a přetvořením je lineární, platí Hookův zákon.

Ve skutečnosti ale zemina v podloží vozovky není dokonale pružná ani ideálně homogenní a izotropní látka. Po každém zatěžovacím cyklu dochází k celkovému stlačení zeminy a k deformaci povrchu. Po následném odlehčení má část zatlačení charakter vratné (pružné) deformace a část nevratné (plastické) deformace. Při opakujících se zatěžovacích cyklech se postupně zmenšuje část plastické deformace a zemina v podloží nabývá charakter pružné látky. Nahrazení chování podloží pružným poloprostorem představuje určité zjednodušení úlohy.

Reálně je zemina v podloží vozovky vystavena klimatickým vlivům a dochází zde k cyklickým změnám vlastností, zejména u soudržných zemin. Dopravním provozem, t.j. opaková-

---

<sup>1</sup> Ing., Ph. D., Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, tel. (+420) 596991342, e-mail ivana.mahdalova@vsb.cz

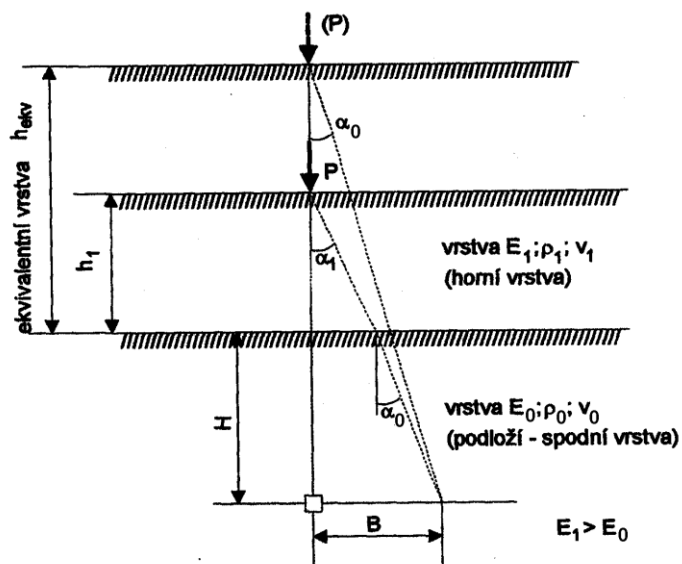
ným zatěžováním, dojde sice v průběhu roku postupně k výraznému zmenšení až vymizení části plastické deformace, ale v době jarního tání se významně zvyšuje vlhkost soudržných zemin a tím i jejich plasticita. Původně proběhlá konsolidace zeminy je tím porušena a opět se uplatní vliv plastické části deformace v podloží. Tento jev je znám jako snížení únosnosti podloží vozovky v době jarního tání.

Chování podloží vozovky tedy lépe vystihuje model pružně plastického poloprostoru. Pro definování návrhových hodnot materiálů je pak výhodnější užití modulů přetvárnosti, které lépe charakterizují jejich přetvárné vlastnosti. Ostatně následná kontrola kvality zhotovených vrstev se provádí kontrolou dosažení požadovaného modulu přetvárnosti (nejčastěji statickou zatěžovací zkouškou).

Metodika dimenzování konstrukčních vrstev podle modulu přetvárnosti je dobře zpracována v resortním předpisu Českých drah ČD S4 Železniční spodek [1]. Vhodnost metodiky je dostatečně ověřena praxí dimenzování prázcového podloží.

## 2 VÝPOČTOVÝ MODEL VÍCEVRSTVÉ NETUHÉ KONSTRUKCE PODLE MODULU PŘETVÁRNOSTI

V dopravním stavitelství, při budování konstrukční vrstvy v podloží silničních i železničních staveb, stejně jako při budování nestmelených konstrukčních vrstev vozovky, se jedná o řešení úlohy, kdy vícevrstvý netuhý konstrukční systém je tvořen tak, že tužší vrstva spočívá na poddajnější vrstvě (viz obr. 1). Horní tužší vrstva je charakterizována modulem pružnosti  $E_1$ , hodnotou prostředí (objemovou hustotou)  $\rho_1$  a rychlostí šíření vln  $v_1$ . Spodní poddajnější vrstva je charakterizována modulem pružnosti  $E_0$ , hodnotou prostředí (objemovou hustotou)  $\rho_0$  a rychlostí šíření vlnění  $v_0$ . V takové konstrukci platí, že  $E_1 > E_0$ .



Obr.1 Šíření chvění ve dvouvrstvě

Při formulaci výpočtového modelu pro přetváření vícevrstvého prostředí byly východiskem původní práce institutu SOJUZDORNII z první poloviny 20. století a dílčí část práce H. Lahuty [2], která se podrobněji zabývá matematickým rozpracováním zmíněné teorie. Výpočtový model byl podrobně odvozen autorkou tohoto příspěvku v disertační práci [3].

Ekvivalentní modul přetvárnosti na povrchu dvouvrstvého systému, t.j. modul přetvárnosti takové homogenní hmoty, jejíž stlačení (sednutí) pod stejným zatížením se bude rovnat stlačení dvouvrstvého systému, odvozený ve [2], je vyjádřen rovnicí:

$$E_{ekv} = \frac{E_1}{n^{2,5} \cdot \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left( 1 - \frac{1}{n^{3,5}} \right) \cdot \arctg \frac{h_1 \cdot n}{D} \right]} \quad (1)$$

kde  $E_{ekv}$  je ekvivalentní modul přetvárnosti v MPa,  $E_1$  je modul přetvárnosti horní vrstvy v MPa,  $h_1$  je tloušťka horní vrstvy v m,  $D$  průměr kruhové zatěžovací desky v m a veličina  $n$  je vyjádřena rovnicí

$$n = 2,5 \sqrt{\frac{E_1}{E_0}} \quad (2)$$

kde  $E_0$  je modul přetvárnosti spodní vrstvy v MPa, přitom  $E_1 > E_0$ .

Ekvivalentní modul přetvárnosti lze vyjádřit z (1) na základě modulu přetvárnosti horní vrstvy ve tvaru:

$$E_{ekv} = k_3 \cdot E_1 \quad [\text{MPa}] \quad (3)$$

kde koeficient  $k_3$  lze vyjádřit jako:

$$k_3 = \frac{1}{n^{2,5} \cdot \left[ 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left( 1 - n^{-3,5} \right) \cdot \arctg \frac{h_1 \cdot n}{D} \right]} \quad (4)$$

Když označíme poměr modulů přetvárnosti jako

$$k_1 = \frac{E_0}{E_1} \quad (5)$$

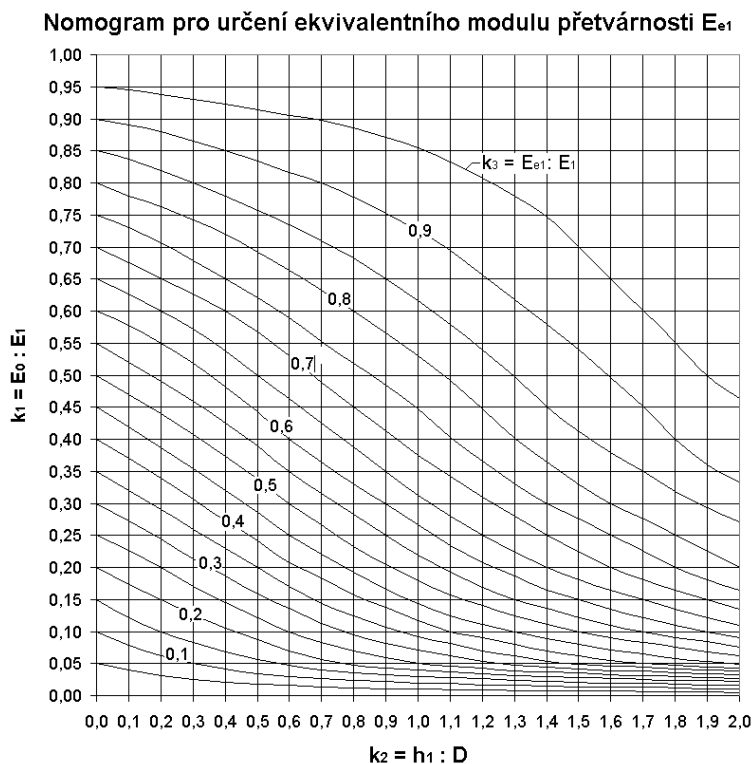
a poměr tloušťky horní vrstvy a průměru kruhové plochy jako

$$k_2 = \frac{h_1}{D} \quad (6)$$

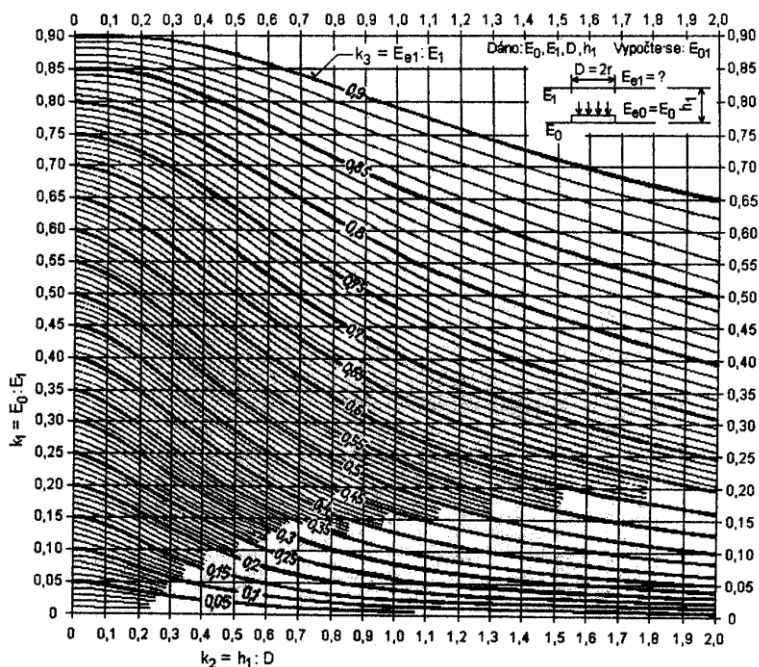
lze pak koeficient  $k_3$  v závislosti na koeficientech  $k_1$  a  $k_2$  vyjádřit ve tvaru:

$$k_3 = \frac{1}{\frac{1}{k_1} - \frac{2}{\pi} \cdot \left( \frac{1}{k_1} - 2,5 \sqrt[k_1]{k_1} \right) \cdot \arctg \frac{k_2}{2,5 \sqrt[k_1]{k_1}}} \quad (7)$$

Výsledkem využitelným pro zjednodušené dimenzování nestmelené konstrukční vrstvy vozovky či aktivní zóny pak může být návrhový nomogram pro určení ekvivalentního modulu přetvárnosti dvouvrstvé netuhé konstrukce uvedený na obr. 2. Obdobný nomogram, který je pro srovnání uveden na obr. 3, využívá pro dimenzování konstrukční vrstvy železničního spodku předpis ČD S4.



**Obr.2** Nomogram pro určení ekvivalentního modulu přetvárnosti dvouvrstvé netuhé konstrukce podle [3]



**Obr.3** Nomogram pro určení ekvivalentního modulu přetvárnosti konstrukce podle ČD S4

### 3 NAVRHOVÁNÍ NESTMELENÉ KONSTRUKČNÍ VRSTVY VOZOVKY A AKTIVNÍ ZÓNY PODLE MODULU PŘETVÁRNOSTI

Podloží vozovky, pokud je část podloží vozovky (aktivní zóna) zlepšena, stejně jako samotnou netuhou vozovku, lze považovat za vrstevnatý, pružně plastický poloprostor. Při dimenzování konstrukční vrstvy podle modulu přetvárnosti lze použít výše popsany výpočtový model pro přetváření vícevrstvého prostředí. Metodu lze použít pouze k dimenzování nezlepšené konstrukční vrstvy aktivní zóny nebo nestmelené konstrukční vrstvy vozovky a pouze pro vícevrstvý systém, u kterého má horní vrstva větší vlastní modul přetvárnosti než vrstva spodní.

Výše popsany výpočtový model a návrhový graf uvedený na obr. 2 se použije k orientačnímu stanovení potřebné tloušťky konstrukční vrstvy  $h_1$  nutné k dosažení předepsaného ekvivalentního modulu přetvárnosti  $E_{e1}$  na povrchu nestmelené konstrukční vrstvy za předpokladu znalosti modulu přetvárnosti podloží  $E_0$ , modulu přetvárnosti konstrukční vrstvy  $E_1$  a průměru kruhové zatěžovací desky  $D$ . Požadované minimální hodnoty modulů přetvárnosti jsou předepsány v TP 170 [4]. Postupuje se přitom tak, že se vypočtou koeficienty  $k_1$  a  $k_3$ , z návrhového grafu se odečte koeficient  $k_2$  a z něj se vypočte potřebná tloušťka konstrukční vrstvy:

$$h_1 = k_2 \cdot D \quad [\text{m}] \quad (8)$$

Právě tento postup lze s výhodou uplatnit při navrhování konstrukční vrstvy vozovky nebo aktivní zóny, kdy je možno vhodně volit konstrukční materiál a jeho tloušťku tak, aby byl požadovaný předepsaný modul přetvárnosti skutečně dosažen. Dosavadní praxe, vycházející z hodnot CBR zemin a konstrukčních nestmelených materiálů, totiž často zejména při sanaci zemní pláně vede k tomu, že navrženou konstrukcí není na stavbě reálně dosaženo požadovaných parametrů na povrchu vrstvy, zhotovená konstrukční vrstva se musí odtěžit a metodou „pokus-omyl a zpět“ se provádějí další opatření k dosažení předepsané únosnosti, což je metoda poněkud nákladná a zdoluhavá, ač nakonec obvykle úspěšná.

### 4 OVĚŘENÍ SPOLEHLIVOSTI DIMENZOVÁNÍ NESTMELENÉ KONSTRUKČNÍ VRSTVY PODLE MODULU PŘETVÁRNOSTI

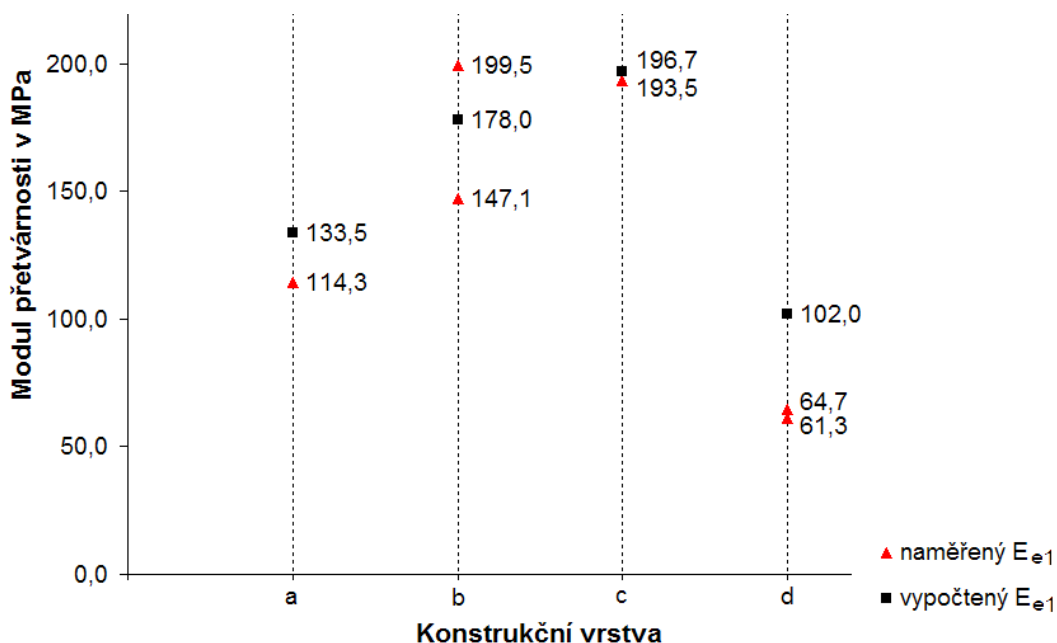
Ověření spolehlivosti dimenzování nestmelených konstrukčních vrstev podle modulu přetvárnosti bylo provedeno porovnáním vypočtených předpokládaných hodnot ekvivalentního modulu přetvárnosti s hodnotami získanými na základě dostupných výsledků statických zatěžovacích zkoušek prováděných na konstrukčních vrstvách staveb pozemních komunikací v Ostravě od léta 2005 do jara roku 2006.

Výběr výsledků statických zatěžovacích zkoušek pro ověření metodiky byl poměrně obtížný, protože bylo nutné dohledat měření prováděná přibližně ve stejném místě na podloží konstrukční vrstvy a následně na vlastní konstrukční vrstvě. Vzhledem k odchylkám polohy zatěžovací desky při provádění statické zatěžovací zkoušky pod a na konstrukční vrstvě a vzhledem k velmi proměnným parametrům podloží, ať už u rostlého podkladu nebo u povrchu násypového tělesa (hlušinová sypanina - doloženo  $E_{def2} = 72,7 \text{ MPa}$  až  $157,4 \text{ MPa}$ ), může být ověření zatíženo určitou chybou. Také malý počet dohledaných měření vhodných k vyhodnocení ovlivňuje průkaznost ověření navržené metody. Je také nutno zohlednit skutečnost, že hodnoty modulů přetvárnosti  $E_1$  konstrukčních vrstev nebylo možno zpětně přesně zjistit a byly pouze odhadovány ze známých obvyklých intervalů hodnot pro příslušné použité suroviny.

K ověření byly použity výsledky ze čtyř měření, a to:

- aktivní zóna (výměnná vrstva) ze strusky na parkovišti ul. Ostrčilova
- aktivní zóna ze strusky na přeložce silnice I/58 Hrušov-Bohumín
- ochranná vrstva ze šterkodrti na přeložce silnice I/58 Hrušov-Bohumín
- sanace podloží pod násyp ze strusky na přel. sil. I/58 Hrušov-Bohumín

Výsledky pro jednotlivá měření a) až d) jsou přehledně sestaveny do grafu na obr. 4.



**Obr.4** Grafické vyjádření naměřených a vypočtených hodnot ekvivalentního modulu přetvárnosti  $E_{e1}$  na povrchu konstrukční vrstvy

## 5 ZÁVĚR

Lze konstatovat, že hodnoty očekávaného modulu přetvárnosti na povrchu nestmelené konstrukční vrstvy, vypočtené metodou podle modulu přetvárnosti, jsou relevantní se skutečně naměřenými hodnotami. Metodu je tedy možno považovat za dostatečně věrohodnou pro použití při zjednodušeném dimenzování nestmelených konstrukčních vrstev ve stavbách pozemních komunikací.

Ve zmíněné disertační práci [3] nebyl prostor pro podrobnější ověření metody dimenzování nestmelené konstrukční vrstvy podle modulu přetvárnosti. Metoda by si zasloužila ověření na rozsáhlejším souboru realizovaných statických zatěžovacích zkoušek. Přesto je možno předpokládat, že její uplatnění v praxi by mohlo přinést stavebním firmám nezanedbatelný ekonomický efekt.

## LITERATURA

- [1] ČD S4 Železniční spodek – Resortní předpis. Praha : České dráhy, 1998
- [2] LAHUTA, H. *Příspěvek k využití statické penetrace pro stanovení smykové pevnosti zemin – Habilitační práce*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, FAST, 2005
- [3] MAHDALOVÁ, I. *Využití druhotných surovin v konstrukcích vozovek pozemních komunikací a v aktivní zóně*. Disertační práce. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2006. 125 s. ISBN 80-248-1215-0
- [4] TP 170 *Navrhování vozovek pozemních komunikací – Technické podmínky Ministerstva dopravy ČR*. Praha : Ministerstvo dopravy České republiky, 2004

**Recenzent:** Ing. Vladimíra Pchálková